DOI: 10.5846/stxb201607011362
白玛卓嘎,肖燚,欧阳志云,王莉雁.甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究.生态学报,2017,37(19):6302-6312.
Pema Dolkar, Xiao Y, Ouyang Z Y, Wang L Y.Gross ecosystem product accounting for the Garzê Tibetan Autonomous Prefecture.Acta Ecologica Sinica, 2017,37(19):6302-6312.

甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究

白玛卓嘎[1,2],肖　燚[1,*],欧阳志云[1],王莉雁[1,2]
1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京　100085
2 中国科学院研究生院,北京　100039

摘要:甘孜藏族自治州(以下简称甘孜州)生态状况良好而经济相对滞后,评估甘孜州生态系统服务功能及其价值,对甘孜州社会经济的可持续发展具有一定的促进作用。通过核算甘孜州的生态系统生产总值(GEP),包括对甘孜州的产品提供服务、调节服务和文化服务进行价值评估,以期用直观的经济数据揭示甘孜州生态系统对人们的直接贡献。核算结果显示,甘孜州 2010 年全州生态系统生产总值(GEP)为 7545.59 亿元,人均 71.18 万元,是当年该州国内生产总值(GDP)和人均 GDP 的约 61 倍。其中,调节服务的价值最大,为 6842.28 亿元,占 GEP 总值的 90.68%;产品提供服务和文化服务的价值分别为 632.64 亿元和 70.67亿元,占 GEP 的 8.38%和 0.94%。研究认为甘孜州生态系统服务功能价值巨大,保护甘孜州生态系统就是保护人们的福祉,该结果可以为甘孜州的生态系统管理、生态保护和生态补偿提供重要依据。

关键词:甘孜州;生态系统服务功能;生态系统生产总值

Gross ecosystem product accounting for the Garzê Tibetan Autonomous Prefecture

Pema Dolkar[1,2], XIAO Yi[1,*], OUYANG Zhiyun[1], WANG Liyan[1,2]
1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*

Abstract: Garzê Tibetan Autonomous Prefecture (hereafter Garzê) is located along the upper reaches of the Yangtze River, a unique geographical location that contributes to the prefecture's complex and diverse landscapes and rich biodiversity. Garzê possesses hydropower resources, which comprises thousands of rivers and can be divided into three parts: Jinsha River, Yalong River, and Dadu River. Owing to its important ecological location, Garzê has many ecosystem functions, such as water retention, soil retention, flood mitigation, the protection of biological diversity. Although the ecological condition of Garzê is excellent, the prefecture's economy has lagged behind that of the rest of the country, and many of the important ecosystem products and services that it provides have not been fully recognized or adequately quantified. Therefore, assessing Garzê's ecosystem services is both essential and urgent and will contribute to the sustainable development of the prefecture's society and economy. In this study, Garzê's ecosystem services were divided into three categories (ecosystem provisioning, regulating, and cultural services), and Garzê's gross ecosystem product (GEP) was evaluated using the market value, replacement cost, and travel cost methods, among others, in order to assess the direct contribution of Garzê's ecosystem to beneficiaries. Our results indicated that the GEP of Garzê was 754.559 billion Yuan in 2010 and that the per capita GEP was 711,800 Yuan, which is about 61 times the prefecture's gross domestic product (GDP) and per capita GDP of the same year. Among the ecosystem services, the total value of ecosystem-regulating

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0503402)
收稿日期:2016-07-01;　　**网络出版日期:**2017-05-27
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xiaoyi@ rcees.ac.cn

services was the largest, at 684.228 billion Yuan and accounting for 90.68% of the prefecture's GEP. The total value of ecosystem provisioning services and cultural services was 63.264 billion Yuan and 7.067 billion Yuan, respectively, accounting for 8.38 and 0.94% of the prefecture's GEP. In terms of types of services, water retention, climate regulation, and carbon sequestration-oxygen release were the core services, with a total value of 84.38% of the prefecture's GEP, thus confirming Garzê's high plant cover and function as a significant water retention area of the upper reaches of the Yangtze River. In terms of types of ecosystems, the values of the ecosystems were ranked as follows: Grassland > Forest > Shrub > Wetland > Farmland > Bare land > Glaciers and snowfield > Town; and the total value of the Grassland, Forest, Shrub, and Wetland was 98.87% of the prefecture's GEP. This indicated that these four ecosystems are the main source of ecological products and services; contribute vast economic value to human society and, therefore, to the process of resource development and management; and deserve relatively more attention than other ecosystem types. Our study suggests that Garzê's ecosystem services are highly valuable and that protecting the prefecture's ecosystem will also protect human welfare. The findings of the study can be applied to administrative policymaking and environmental protection, and it will provide a scientific basis for the management, protection, and compensation of the region's ecosystems.

Key Words: Garzê; ecosystem service; Gross ecosystem product (GEP)

生态系统组分及其生态过程不仅创造与维持了地球生命支持系统,形成了人类生存与发展所必需的条件,还为人类提供了生活与生产所必需的食品、医药、木材及工农业生产的原材料,生态系统的产品与服务功能是人类生存与发展的基础[1-2]。然而,随着科学技术的迅猛发展、工业化和城市化的进程加快以及人类干预自然的能力不断增强,使得全球生态系统的格局发生了极大的变化,同时,大量污染物进入生态系统,大大超过生态系统的承载容量,破坏了生态系统的结构与功能,进而引发了全球气候变暖、生态系统退化、生物多样性减少、环境污染等全球性或区域性的生态环境危机,直接威胁到人类正常的生存和发展。

面对日益加剧的全球生态环境问题,人们开始意识到生态系统服务对于人类生存和发展所发挥的无可替代的作用。尤其自 Constanza 等[3] 和 Daily 等[4] 关于生态系统服务价值的研究发表以来,生态系统服务功能的价值评估研究逐渐受到重视,成为生态学、生态经济学等学科研究的前沿和热点。随着该领域的进一步发展,人们逐步认识到一个国家的生态价值不仅取决于其自然环境的优劣,还取决于社会对生态环境状况的认识水平、掌握程度以及生态破坏的治理程度。因此,发达和发展中国家都开始寻求与建立一个独立的核算一个国家或地区的生态系统为人类提供的产品与服务的方法与体系。在此背景上我国学者提出了“生态系统生产总值(GEP)”这一概念,旨在建立一套与国内生产总值(GDP)相对应的、能够衡量生态良好的统计与核算体系。生态系统生产总值(GEP),是指一定区域在一定时间内生态系统为人类提供的最终产品和服务的价值总和,一般以一年为核算时间单元。通过计算草原、沙漠、森林、湿地等自然生态系统以及农田、牧场、水产养殖场等人工生态系统的生产总值,来衡量和评价生态系统的功能和状况[5]。

在此概念提出后许多学者对此展开了大量的试验核算,如欧阳志云等[2] 以贵州省为例,探讨了生态系统生产总值核算的应用方法,并评估得到贵州省 2010 年全省的 GEP 为 20013.46 亿元,是当年该省 GDP 的 4.3 倍。金丹等[6] 运用能值理论与方法,以能值——货币价值为单位对江苏省徐州市的 GEP 进行了核算。曹玉昆等[7] 以黑龙江省“天保”工程投资为例进行了国有林区 GEP 的核算研究,得出 GEP 总值是同期投资的 61 倍。王保乾等[8] 以江苏省水资源生态系统为例,探究 GEP 的核算方法并得出其 GEP 核算值比其纳入 GDP 核算的部分多出 1704.99 亿元。此外,我国鄂尔多斯、深圳市盐田区、阿尔山等都先后开展了 GEP 的核算研究。所有评估结果用直观的经济数字揭示生态系统提供给人类的巨大价值,不仅能提高人们对生态系统保护重要性的认识,也为管理决策者合理利用和保护生态系统提供了依据。

甘孜州地处长江上游,生态区位重要,是我国生物多样性的重要保护区,是我国的重要生态屏障,也是国家绿色能源基地,在国家生态安全中具有重要的战略地位。尽管甘孜州生态基础良好,但由于地处较为偏远

的高原地区,经济发展水平落后、基础设施和监管能力薄弱,其多样的生态系统带给人类的许多重要产品和服务并没有完全被认识到,给甘孜州社会经济的可持续发展造成了一定的影响。对此提供的解决方法就是"赋予甘孜州各生态系统所提供的各项服务以合适的价值",即核算甘孜州生态系统生产总值。以此让人们认识到生态系统服务的巨大效益,认识到保护甘孜州生态系统就是保护人们的福祉。把其成果应用于政府等管理单位的决策领域,为甘孜州政绩评估考核、离任环境审计、资源有偿使用、生态补偿制度等制度的建立和完善提供科技支撑。

1 研究区概况

甘孜州位于四川省西部,青藏高原东部,是青藏高原向四川盆地和云贵高原的过渡地带。地理坐标 97°22′—102°29′E,27°58′—34°20′N,平均海拔 3500 m 以上,属典型的低纬度高海拔地貌类型,面积 15.26 万 km^2,占四川省总面积的 31.5%,是全省面积最大的地级行政区。甘孜州是一个以藏族为主体的少数民族自治州,辖 18 个县(市),至 2010 年人口约 106 万。甘孜州气候属山地寒温带湿润半湿润气候类型,有明显的干、湿季之分,多年平均降水量 330.6—902.6mm,相对湿度在 46%—74%之间,年平均气温为 7.8°C,多年平均水面蒸发量约为 1735.8 mm,全年平均日照时数 1900—2600 h,土壤类型以山地黄棕壤和山地棕壤为主,植被以冷杉林、云杉林、松林和栎林以及灌丛与高山草甸为主[9]。

甘孜州有森林、灌丛、草地、湿地、农田等各种生态系统类型,其中草地生态系统面积最大,其次是森林和灌丛生态系统,3 种生态系统类型的面积占甘孜州总面积的 90%以上。本文采用 2010 年 TM 遥感影像,解译出了甘孜州各生态系统的面积及其空间分布(表 1、图 1)。

表 1 甘孜州生态系统类型及其面积

Table 1 Ecosystem types and their area in Garzê

生态系统类型 Ecosystem types	面积 Area/ km^2	比例 Percentage/%	生态系统类型 Ecosystem types	面积 Area/ km^2	比例 Percentage/%
森林 Forest	31920.60	21.33	城镇 Town	74.53	0.05
灌丛 Shrub	32283.46	21.57	冰川积雪 Glaciers and snowfield	1259.91	0.84
草地 Grassland	71113.87	47.51	裸地 Bare land	8463.19	5.65
湿地 Wetland	2864.27	1.91	合计 Total	149687.70	100
农田 Farmland	1707.87	1.14			

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本研究采用的主要数据来自"全国生态环境十年变化遥感调查评估"项目数据库。其中生态系统类型图主要基于 Landsat TM 数据采用的面向对象的分类技术获取;数字高程模型 DEM,空间分辨率为 90 m,来源于国际科学数据服务平台;降水与温度数据,基于普通薄盘和局部薄盘样条函数插值理论,来源于中国国家计量信息中心/中国气象局(NMIC/CMA);实际蒸散发数据,主要用到 MODIS 全球蒸散发产品(MOD16)和气象局基于站点的插值数据,数据来源于陆地过程分布式数据档案中心(LP DAAC)和中国科学院地理科学与资源研究所;土壤属性数据以及多年平均太阳辐射数据由寒区旱区科学数据中心提供。

2.2 核算指标体系

本研究结合甘孜州生态系统特征、结构和生态过程的特点,以生态系统服务功能价值核算的理论和方法为基础,将甘孜州生态系统的 GEP 核算分为生态系统产品提供价值、调节服务价值和文化服务价值 3 大类 16 项功能指标(表 2)。本文不核算支持服务(如有机质生产、营养物质循环、生物多样性维持等)的价值,因为这些功能支撑了产品提供功能与生态调节功能,且它们的作用已经体现在产品提供与调节功能之中。

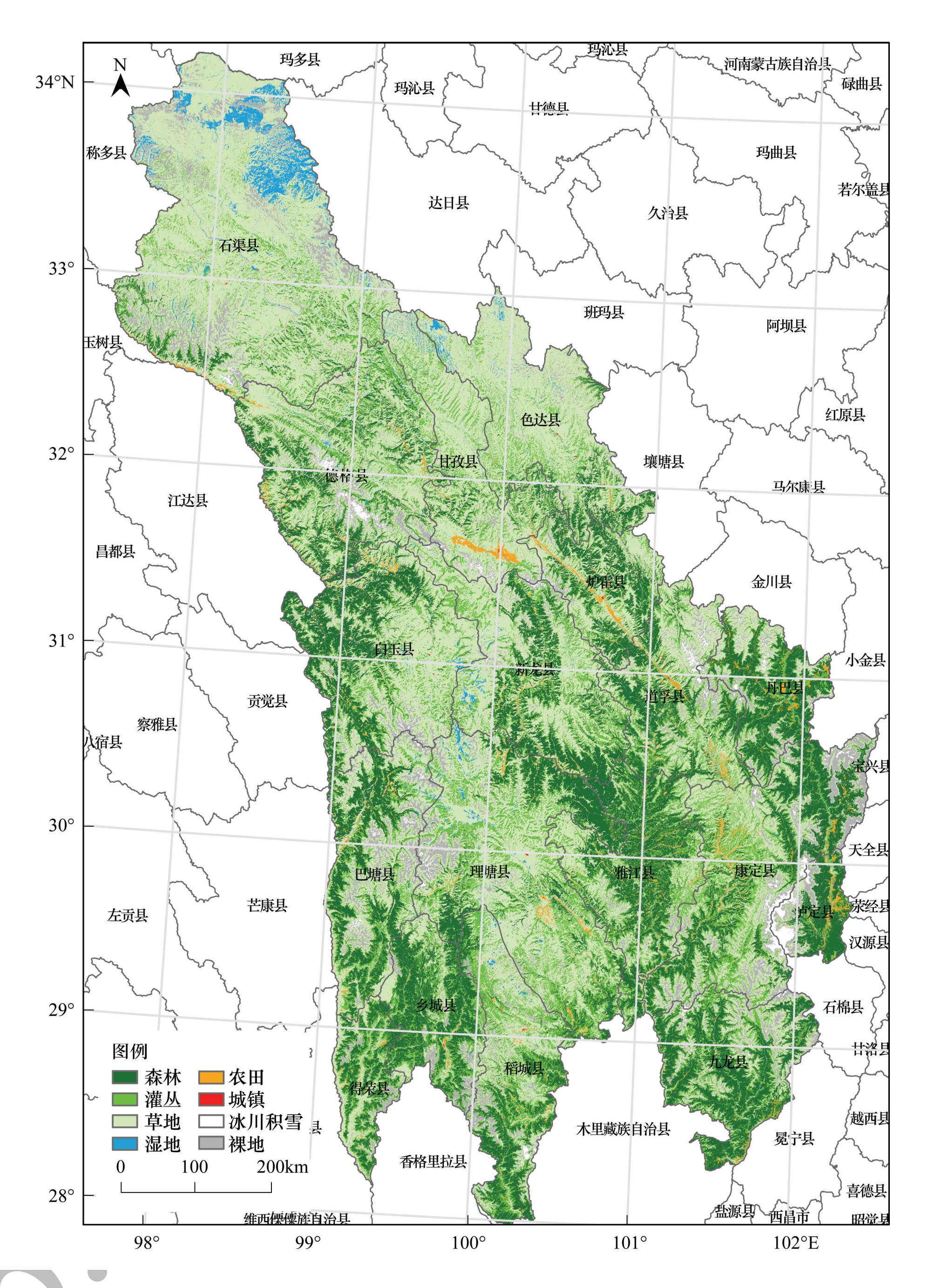


图 1　甘孜州生态系统类型分布

Fig.1　The distribution of the ecosystems of Garzê

2.3　生态系统产品提供服务价值

甘孜州生态系统产品提供是指甘孜州生态系统为人类提供的最终产品。本文核算的生态系统产品有甘孜州的农业产品、林业产品、畜牧业产品、渔业产品,以及水资源和水电。

(1)农林牧渔业产品价值

农业产品包括粮、棉、油料、麻类、烟叶、药材、蔬菜、瓜类、水果等;林业产品包括木材、核桃、板栗、花椒等;牧业产品包括除渔业养殖以外的一切动物饲养以及这些动物所带来的副产品,如牛奶、蜂蜜、羊毛等;渔业产品包括水生动物和海藻类植物等。本文以 2010 年农林牧渔净产值作为甘孜州生态系统给人类提供的农林牧渔产品服务的价值。

(2)水资源提供价值

本文核算的水资源提供包括2010年甘孜州的生活用水量、工业用水量以及农业用水量,运用市场价值法对水资源提供进行价值评估:

$$V_p = \sum_{i=1}^{j} (Q_{p_i} \times P_{p_i}) \quad (1)$$

式中, V_p 为水资源提供价值(元/a); Q_{p_i} 为第 i 种用途(生活、工业、农业)用水量(m^3/a); P_{p_i} 为第 i 种用途(生活、工业、农业)水的用水单价(元/m^3)[10-11]。

(3)水电价值

甘孜州境内江河众多,金沙江、雅砻江和大渡河等大江大河纵贯全境,水能资源丰富。本文运用市场价值法对甘孜州的水电价值进行评估。

表2 甘孜州生态系统生产总值核算指标体系

Table 2 Evaluation index system of Garzê′s Gross ecosystem product (GEP)

核算项目 Services	核算指标 Indexes	价值量评估方法 Methods
产品提供服务 Provisioning services	农业产品	市场价值法
	林业产品	
	畜牧业产品	
	渔业产品	
	水资源	
	水电	
调节服务 Regulating services	水源涵养	影子工程法
	土壤保持	替代成本法
	防风固沙	替代成本法
	洪水调蓄	影子工程法
	大气净化	防治费用法
	水质净化	防治费用法
	固碳释氧	造林成本法、工业制氧法
	气候调节	替代成本法
	病虫害控制	防治费用法
文化服务 Cultural services	景观游憩	旅行费用法

2.4 生态系统调节服务价值

2.4.1 水源涵养价值

本文选用水源涵养量作为生态系统水源涵养功能的评价指标。通过水量平衡方程(The Water Balance Equation)[12]计算甘孜州生态系统的水源涵养量。水源涵养的价值主要表现在增加有效水量,改善水质和调节径流的经济价值。运用影子工程法,以水库建造成本来进行生态系统水源涵养的价值评价:

$$Q_w = \sum_{i=1}^{j} (P_i - R_i - ET_i) \cdot A_i \quad (2)$$

$$V_w = Q_w \cdot P_w \quad (3)$$

式中, Q_w 为水源涵养量(m^3/a); V_w 为水源涵养服务的价值(元/a); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/m^3)[13]; P_i 为降雨量(mm); R_i 为暴雨径流量(mm); ET_i 为蒸散发量(mm); A_i 为 i 类生态系统的面积(m^2); i 为第 i 类生态系统类型; j 为生态系统类型数。

2.4.2 土壤保持价值

本文选用土壤保持量,即通过生态系统(如植被覆盖)减少的土壤侵蚀量(潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值)[14-15],作为生态系统土壤保持功能的评价指标。通过通用水土流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)[16]计算甘孜州生态系统的土壤保持量。土壤保持价值运用替代成本法从减少泥沙淤积和减少面源污染2个方面来进行评价,最后这两个方面价值加和就为土壤保持功能的总价值。

其中减少泥沙淤积的价值为:

$$V_{s_1} = \lambda \cdot \frac{A_s}{\rho} \cdot P_s \quad (4)$$

式中, V_{s_1} 为减少泥沙淤积价值(元/a); λ 为泥沙淤积系数; A_s 为土壤保持量(t/a); ρ 为土壤容重(t/m^3); P_s 为水库清淤工程费用(元/m^3)[13]。

减少面源污染的价值为:

$$V_{s_2} = A_s \cdot C_N \cdot P_N + A_s \cdot C_P \cdot P_P \quad (5)$$

式中, V_{s_2} 为减少面源污染价值(元/a); C_N、C_P分别为土壤中氮、磷的纯含量(%); P_N、P_P为氮和磷的环境工程降解成本(元/t)[17]。

2.4.3　防风固沙价值

本文选用防风固沙量,即通过生态系统减少的风蚀量(潜在风蚀量与实际风蚀量的差值),作为生态系统防风固沙功能的评价指标。风蚀量采用修正风蚀方程(Revised Wind Erosion Equation, RWEQ)[18-19]计算。生态系统防风固沙的价值主要体现在减少土地沙化的经济价值。运用替代成本法,将治理这些沙化土壤的成本作为防风固沙功能的价值:

$$V_f = \frac{Q_f}{\rho \cdot h} \cdot P_f \tag{6}$$

式中, V_f 为防风固沙价值(元/a); Q_f 为固沙量(t/a); ρ 为沙砾堆积密度(t/m^3); h 为土壤沙化标准覆沙厚度(m); P_f 为治沙工程的平均成本(元/m^2)。

2.4.4　洪水调蓄价值

本文选用湖泊、水库和沼泽总的可调蓄洪水量表征湿地生态系统洪水调蓄服务的功能量。洪水调蓄价值主要体现在减轻洪水威胁的经济价值,运用影子工程法,通过建设水库的费用成本计算湿地生态系统的洪水调蓄价值。

其中湖泊可调蓄水量是通过其与湖面面积的关系构建模型,进而通过湖面面积与湖泊换水次数估算而得到的。甘孜州地处青藏高原,湖泊可调蓄水量评价模型[20]:

$$C_l = e^{6.636} \cdot A^{0.678} \cdot T \tag{7}$$

式中, C_l 为湖泊洪水调蓄能力(万 m^3/a); A 为湖泊总面积(km^2); T 为湖泊换水次数(次),取值 1。

本文将水库的防洪库容作为水库调蓄洪水的能力,水库的防洪库容根据其与水库泄洪次数构建模型[20]估算:

$$C_r = C_t \cdot 0.35 \tag{8}$$

式中, C_r 为水库洪水调蓄能力(万 m^3/a); C_t 为水库总库容(万 m^3)。

通过构建地表滞水量模型计算得到甘孜州沼泽洪水调蓄能力:

$$C_m = 0.3 \cdot S \cdot 10^6 \tag{9}$$

式中, C_m 为沼泽洪水调蓄能力(万 m^3/a); S 为甘孜州沼泽总面积(km^2)。

甘孜州生态系统洪水调蓄价值根据湖泊、水库和沼泽调蓄能力乘以水库建设单位库容造价进行核算:

$$V_t = (C_l + C_r + C_m) \cdot P_w \tag{10}$$

式中, V_t 为洪水调蓄价值(元/a); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/m^3)[13]。

2.4.5　大气净化价值

本文选用生态系统吸收二氧化硫、氮氧化物、阻滞吸收粉尘 3 个指标核算生态系统净化空气的能力。采用防治费用法,以排放 SO_2、氮氧化物和工业粉尘的治理成本[17]来估算甘孜州生态系统大气净化的价值。

2.4.6　水质净化价值

本文选用湿地生态系统吸收 COD 和氨氮 2 个指标核算生态系统净化水质的能力。采用防治费用法,以排放 COD 与氨氮的治理成本[17]来估算甘孜州生态系统水质净化的价值。

2.4.7　固碳释氧价值

本文选用固碳量(CO_2)和释氧量(O_2)作为生态系统固碳释氧功能量的评价指标。固碳量和释氧量可以通过固碳速率、植被净初级生产力(NPP)来核算。本文采用造林成本法和工业制氧成本法分别评估甘孜州生态系统的固碳价值和释氧价值,最后得到生态系统的固碳释氧价值:

$$V_g = Q_C \cdot P_C + Q_O \cdot P_O \tag{11}$$

式中, V_g 为固碳释氧价值(元/a); Q_C 为固碳量(t/a); P_C 为造林成本价格(元/t); Q_O 为释氧量(t/a); P_O 为工业制氧价格(元/t)。

2.4.8 气候调节价值

本文选用甘孜州生态系统蒸腾蒸发消耗的能量作为生态系统气候调节功能量的评价指标。运用替代成本法,采用空调、加湿器等效降温增湿所需要的耗电量乘以电费即得到气候调节功能的价值。

(1)植被蒸腾:

$$V_a = \left[\sum_{i=1}^{j} \mathrm{GPP} \cdot S_i \cdot d / (3600 \cdot R) \right] \cdot c \qquad (12)$$

式中, V_a 为生态系统植被蒸腾后降温增湿的价值(元/a);GPP 为不同生态系统类型单位面积蒸腾消耗热量($\mathrm{kJ\ m^{-2}\ d^{-1}}$);$S_i$ 为 i 类(森林、灌丛、草地)生态系统的面积($\mathrm{m^2}$);d 为空调开放天数(d);R 为空调能效比;c 为甘孜州电价(元 $\mathrm{kW^{-1}\ h^{-1}}$)。

(2)水面蒸发:

$$V_e = (E \cdot \rho \cdot q / 3600 + E \cdot \gamma) \cdot c \qquad (13)$$

式中, V_e 为水面蒸发后降温增湿的价值(元/a);E 为水面蒸发量($\mathrm{m^3}$);ρ 为水的密度($\mathrm{kg/m^3}$);q 为挥发潜热(J/g);γ 为加湿器将 $1\mathrm{m^3}$ 水转化为蒸汽的耗电量(kW · h)。

2.4.9 病虫害控制价值

生态系统病虫害控制是生态系统通过提高物种多样性水平增加天敌而降低植食性昆虫的种群数量,达到病虫害控制而产生的生态效应。采用防治费用法,用发生病虫害后自愈的面积和人工防治病虫害的成本来核算生态系统病虫害控制价值。

2.5 生态系统文化服务价值

生态系统的文化服务功能是指人们通过精神感受、知识获取和消遣娱乐等体验从生态系统中获得的非物质利益。关于文化服务功能本文只考虑了景观游憩的价值。运用旅行费用法,依据旅游总人次、旅游总收入等因素对甘孜州景观游憩的价值进行评估。

3 结果与分析

3.1 产品提供

2010 年甘孜州生态系统产品提供功能的总价值为 632.64 亿元(表 3),占当年甘孜州 GEP 总值的 8.38%。其中农、林、牧、渔产品价值分别为 12.29 亿元、2.38 亿元、22.07 亿元和 0.04 亿元[21];2010 年甘孜州的生活用水量为 1.36 亿 $\mathrm{m^3}$,工业用水量为 150.17 亿 $\mathrm{m^3}$,农业用水量为 17.31 亿 $\mathrm{m^3}$[22],得到水资源提供的总价值为 545.35 亿元;甘孜州 2010 年全年的水力发电量为 95.3 亿 kW · h[21],经济价值为 50.51 亿元。

表 3 2010 年甘孜州生态系统服务功能量与价值量

Table 3 Ecosystem services of Garzê and their economic values

核算项目 Types	服务功能 Services	核算指标 Indexes	功能量 Physical quantities	单价 Price	价值量 Monetary Value/亿元	价值量 Monetary Value/亿元	总价值 Total Value/亿元
产品提供 Provisioning services	农业产品	—	—	—	12.2875	12.29	632.64
	林业产品	—	—	—	2.3777	2.38	
	畜牧业产品	—	—	—	22.0760	22.08	
	渔业产品	—	—	—	0.0356	0.04	
	水资源	生活用水量(亿 $\mathrm{m^3}$)	1.36	2.6(元/$\mathrm{m^3}$)	3.5400	545.36	
		工业用水量(亿 $\mathrm{m^3}$)	150.17	3.6(元/$\mathrm{m^3}$)	540.6113		
		农业用水量(亿 $\mathrm{m^3}$)	17.31	0.07(元/$\mathrm{m^3}$)	1.2117		
	水电	水力发电量(亿 kW · h)	95.30	0.53(元 $\mathrm{kW^{-1}\ h^{-1}}$)	50.5090	50.51	

续表

核算项目 Types	服务功能 Services	核算指标 Indexes	功能量 Physical quantities	单价 Price	价值量 Monetary Value/亿元	价值量 Monetary Value/亿元	总价值 Total Value/亿元
调节服务 Regulating services	水源涵养	水源涵养量(亿 m^3)	321.49	7.06(元/m^3)	2269.7074	2269.71	6842.28
	土壤保持	减少泥沙淤积(亿 m^3)	10.03	15.58(元/m^3)	156.2555	399.60	
		减少 N 面源污染(万 t)	1437.94	875(元/t)	125.8199		
		减少 P 面源污染(万 t)	419.72	2800(元/t)	117.5226		
	防风固沙	防风固沙量(万 t)	779.42	3.75(元/m^2)	2.2835	2.28	
	洪水调蓄	湖泊调蓄量(亿 m^3)	2.43	7.06(元/m^3)	17.1430	59.56	
		水库调蓄量(亿 m^3)	0.01	7.06(元/m^3)	0.0684		
		沼泽调蓄量(亿 m^3)	6.00	7.06(元/m^3)	42.3436		
	大气净化	净化 SO_2 量(t)	1137	1200(元/t)	0.0136	0.03	
		净化氮氧化物量(t)	2772	630(元/t)	0.0175		
		净化工业粉尘量(t)	941	150(元/t)	0.0014		
	水质净化	净化 COD 量(t)	5424	700(元/t)	0.0380	0.04	
		净化氨氮量(t)	625	875(元/t)	0.0055		
	固碳释氧	固碳量(亿 t)	0.31	380(元/t)	117.3548	1939.27	
		释氧量(亿 t)	2.51	727(元/t)	1821.9182		
	气候调节	植被蒸腾降温增湿(亿 kW·h)	2799.10	0.53(元 kW^{-1} h^{-1})	1483.5208	2157.86	
		水面蒸发降温增湿(亿 kW·h)	1272.35	0.53(元 kW^{-1} h^{-1})	674.3433		
	病虫害控制	森林病虫害控制面积(万 hm^2)	158	375(元/hm^2)	5.9250	13.93	
		草地病虫害控制面积(万 hm^2)	711.13	112.5(元/hm^2)	8.0003		
文化服务 Cultural services	景观游憩	旅游总人次(万人次)	358.68	—	70.6669	70.67	70.67
合计 Total					7545.59	7545.59	7545.59

3.2　调节服务

2010 年甘孜州生态系统调节服务的总价值为 6842.28 亿元(表 3),占当年甘孜州 GEP 总值的 90.68%。其中水源涵养价值 2269.71 亿元,占 GEP 总值的 30.08%;气候调节价值 2157.86 亿元(占 28.60%);固碳释氧价值 1939.27 亿元(占 25.70%)。

3.2.1　水源涵养价值

2010 年甘孜州生态系统的水源涵养总量为 321.49 亿 m^3,水源涵养的总价值为 2269.71 亿元,单位面积价值 1.52×10^6元/km^2。在甘孜州生态系统类型中,森林、灌丛和草地 3 种典型生态系统是水源涵养服务的主要贡献者。其中草地生态系统的水源涵养价值最大,为 993.56 亿元(表 4),占水源涵养总价值的 43.77%,其次为灌丛生态系统和森林生态系统,价值分别为 617.09 亿元和 616.93 亿元,三者价值的和占水源涵养总价值的 98.14%。虽然甘孜州草地生态系统的水源涵养价值最大,但其水源涵养单位面积价值没有森林和灌丛生态系统高,森林、灌丛和草地生态系统的水源涵养单位面积价值分别为 1.93×10^6元/km^2,1.91×10^6元/km^2和 1.40×10^6元/km^2。

3.2.2　土壤保持价值

利用通用水土流失方程估算得到 2010 年甘孜州生态系统的土壤保持总量为 38.86 亿 t。依据式(4)得到减轻泥沙淤积的价值为 156.26 亿元,其中泥沙淤积系数取 0.24[23],土壤容重取 0.93t/m^3[24]。依据式(5)得到减少面源污染的价值为 243.34 亿元,其中土壤中氮、磷的纯含量分别取 0.37%和 0.108%[12]。最后得到土壤保持的总价值为 399.60 亿元,单位面积价值 2.67×10^5元/km^2。在甘孜州生态系统类型中,森林、草地以及灌丛生态系统的土壤保持价值较大,分别为 145.21、143.71、97.74 亿元,三者价值的和占土壤保持总价值的

96.76%。其中尤其森林生态系统的土壤保持能力最强,土壤保持单位面积价值为 4.55×10^5元/km^2,在甘孜州水土保持中起着关键性作用。

3.2.3 防风固沙价值

应用修正风蚀方程得到 2010 年甘孜州生态系统的防风固沙量为 779.42 万 t,砂砾堆积密度取 1.28t/m^3[24],土壤沙化标准覆沙厚度取 0.1 m,得到固沙面积 60.89 km^2,则甘孜州生态系统的防风固沙价值为 2.28 亿元。其中草地生态系统的防风固沙价值最大,为 1.49 亿元,占防风固沙总价值的 65.35%。同时草地生态系统的防风固沙能力最强,单位面积价值为 2095.23 元/km^2。由此可见草地生态系统对甘孜州的防风固沙起着重要作用,应对草地进行科学的管理和保护。

3.2.4 洪水调蓄价值

2010 年甘孜州湖泊、水库和沼泽总的可调蓄水量为 8.44 亿 m^3,洪水调蓄的总经济价值为 59.56 亿元。其中根据湖泊洪水调蓄功能评价模型计算得到甘孜州的湖泊可调蓄水量为 2.43 亿 m^3,经济价值为 17.15 亿元,占洪水调蓄总价值的 28.79%;至 2010 年,甘孜州建成的各类蓄水工程的总库容约 0.03 亿 m^3,根据评价模型估算得到甘孜州的水库可调蓄量为 0.01 亿 m^3,经济价值为 0.07 亿元,占洪水调蓄总价值的 0.12%;沼泽是甘孜州湿地生态系统的主要类型,2010 年甘孜州沼泽面积占湿地总面积的约 70%,根据模型计算得到甘孜州的沼泽可调蓄水量为 6 亿 m^3,经济价值为 42.34 亿元,占洪水调蓄总价值的 71.09%。可见甘孜州广阔的沼泽生态系统具有巨大的洪水调蓄能力,为甘孜州人民减免洪灾危害做出了巨大的贡献。

3.2.5 大气净化价值

2010 年甘孜州主要大气污染物二氧化硫、氮氧化物、工业粉尘的排放量分别为 1137、2772 t 和 941 t,运用防治费用法估算得到大气净化的总经济价值为 0.03 亿元。其中净化氮氧化物的价值最大,占大气净化价值的 53.70%。

3.2.6 水质净化价值

2010 年甘孜州湿地生态系统排放 COD 和氨氮的量分别为 5424 t 和 625 t,运用防治费用法估算得到水质净化的总价值为 0.04 亿元。其中湿地生态系统净化 COD 的价值占水质净化总价值的 87.41%。

3.2.7 固碳释氧价值

2010 年甘孜州生态系统固碳(CO_2)总量为 0.31 亿 t,释氧(O_2)总量为 2.51 亿 t,则甘孜州 2010 年的固碳价值为 117.35 亿元,释氧价值为 1821.92 亿元,得到固碳释氧功能总价值 1939.27 亿元,单位面积价值为1.30×10^6元/km^2。其中森林、草地以及灌丛生态系统的固碳释氧价值较大,分别为 722.30、684.67、450.03 亿元,三者价值的和占固碳释氧总价值的 95.76%。其中森林生态系统的固碳释氧能力最高,单位面积固碳释氧价值为 2.26×10^6元/km^2。

3.2.8 气候调节价值

2010 年甘孜州生态系统降温增湿消耗的总能量为 4071.44 亿 kW・h,气候调节总价值为 2157.86 亿元。其中植被(森林、灌丛、草地)的气候调节价值为 1483.52 亿元,占气候调节总价值的 68.75%;湿地生态系统的气候调节价值为 674.34 亿元,占气候调节总价值的 31.25%。且湿地生态系统的气候调节能力强,单位面积价值为 2.35×10^7元/km^2,比植被的气候调节单位面积价值高一个数量级。

3.2.9 病虫害控制价值

2010 年甘孜州天然林面积约 158 万 hm^2,天然草地面积约 711.13 万 hm^2,估算得到甘孜州生态系统森林、草地的病虫害控制价值分别为 5.93 亿元和 8.00 亿元,则 2010 年甘孜州的病虫害控制功能的总价值为 13.93 亿元。

3.3 文化服务

2010 年甘孜州全年接待国内外游客 358.68 万人次,旅游总收入约为 23.56 亿元。估算得到甘孜州文化服务的总经济价值为 70.67 亿元。

3.4　生态系统生产总值及组成特征

根据以上评估结果,2010 年甘孜州生态系统生产总值(GEP)为 7545.59 亿元。从不同的服务功能类型来看,水源涵养、气候调节和固碳释氧这 3 项服务功能的价值相对较大,3 项价值的和占 GEP 总值的 84.38%;从不同的生态系统类型来看(表 4),各价值量大小依次为:草地>森林>灌丛>湿地>农田>裸地>冰川积雪>城镇。其中草地、森林、灌丛和湿地价值的和占总 GEP 价值的 98.87%。

表 4　甘孜州 2010 年各类生态系统生产总值核算结果

Table 4　GEP accounting results of Garzê in different ecosystem types (2010)

核算项目 Items	核算内容 Contents	价值 Monetary Value/(亿元)									总价值 Total Value/(亿元)
		森林 Forest	灌丛 Shrub	草地 Grassland	湿地 Wetland	农田 Farmland	城镇 Town	冰川积雪 Glaciers& snowfield	裸地 Bare land	合计 Total	
产品提供 Provisioning services	产品提供	2.38	—	22.07	595.90	12.29	—	—	—	632.64	632.64
调节服务 Regulating services	水源涵养	616.93	617.09	993.56	33.56	2.59	0.10	0.14	5.74	2269.71	6842.28
	土壤保持	145.21	97.74	143.71	1.30	3.32	0.07	4.34	3.91	399.60	
	防风固沙	0.23	0.34	1.49	0.06	0.02	0.001	0.002	0.14	2.28	
	洪水调蓄	—	—	—	59.56	—	—	—	—	59.56	
	大气净化				0.03					0.03	
	水质净化	—	—	—	0.04	—	—	—	—	0.04	
	固碳释氧	722.30	450.03	684.67	29.91	24.07	0.83	1.12	26.34	1939.27	
	气候调节	666.68	309.16	507.68	674.34	—	—	—	—	2157.86	
	病虫害控制	5.93	—	8.00	—	—	—	—	—	13.93	
文化服务 Cultural services	景观游憩	16.33	16.51	36.37	1.46	—	—	—	—	70.67	70.67
合计 Total		2176.00	1490.88	2397.56	1396.13	42.29	1.00	5.60	36.13	7545.59	7545.59

4　讨论

甘孜州生态系统给甘孜州和其他地区人们提供了许多重要的产品和服务,但在过去唯 GDP 考核的社会经济发展过程中,这些服务并没有完全被认识到,给甘孜州社会经济的可持续发展造成了一定的影响。本文就针对甘孜州经济欠发达,而生态良好这一特点,对甘孜州进行了生态系统生产总值的核算评估,以期用直观的经济数据揭示甘孜州广袤的森林、草原等生态系统为甘孜及其他地区人们带来的巨大生态效益,认识到生态系统服务价值这一被忽略的巨大效益,认识到保护甘孜州生态系统就是保护人们的福祉。

本文核算得出 2010 年甘孜州生态系统生产总值为 7545.59 亿元,是当年甘孜州国内生产总值(GDP)的 61 倍,其中生态系统产品提供价值为 632.64 亿元,占 GEP 的 8.38%;调节服务价值 6842.28 亿元,占 90.68%;文化服务价值 70.67 亿元,占 0.94%。

从不同的服务功能类型来看,调节服务中的水源涵养、气候调节和固碳释氧这 3 项服务价值的和占 GEP 总值的 84.38%,说明这 3 项服务是甘孜州提供的核心服务,这也论证了甘孜州的高森林、草原覆盖率,以及甘孜州是长江上游重要水源涵养与水质保障区,也是区域内重要的水汽源和气候调节器。此外,由于甘孜州属高原地区,海拔高,空气稀薄,氧含量低,因此高原生态系统释放氧气的功能对高原人们的生存和健康具有重要意义。

从不同的生态系统类型来看,其价值量大小依次为:草地>森林>灌丛>湿地>农田>裸地>冰川积雪>城镇。其中草地、森林、灌丛和湿地价值的和占总 GEP 价值的 98.87%。说明甘孜州广阔的草地、森林、灌丛等自然生态系统在提供生态系统服务功能方面具有的显著及重要的经济价值。因此,在资源开发和管理过程中要更注意合理利用和保护这些自然生态系统。此外,甘孜州的森林生态系统具有较高的水源涵养、土壤保持

和固碳释氧能力,草地生态系统具有较高的防风固沙能力,湿地生态系统具有较高的气候调节和洪水调蓄能力,因此可以有针对性地对这些生态系统进行保护和管理。

不可否认本文的核算结果存在一定的误差:(1)遥感数据、气象数据和统计数据的获取与处理过程中不可避免存在误差;(2)参考不同资料得到的各参数、单价因年份、区域的不同存在一定的误差;(3)运用防治费用法核算空气净化、水质净化的价值很大程度上是对这两项生态系统服务价值的最低估计。虽然研究结果存在一定的误差,但并不影响人们对甘孜州生态系统服务功能价值的了解以及为政策管理者和决策者提供生态系统保护的经济依据。

为了能更全面更准确地核算甘孜州的生态系统生产总值,以便更好地为甘孜州生态系统的可持续利用、管理提供科学依据,将完善生态系统服务功能的定价方法以及模拟、预测生态系统服务功能的变化定为下一项研究的目标。

参考文献(References):

[1] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.

[2] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖燚. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.

[3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[4] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997.

[5] European Commission, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank. System of Environmental-Economic Accounting 2012: Experimental Ecosystem Accounting. 2013.[2016-06-06]. http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/eea_white_cover.pdf.

[6] 金丹, 卞正富. 基于能值和 GEP 的徐州市生态文明核算方法研究. 中国土地科学, 2013, 27(10): 88-94.

[7] 曹玉昆, 李迪. 基于生态投资视角的国有林区 GEP 核算研究——以黑龙江省"天保"工程投资为例. 经济师, 2013, (11): 12-15.

[8] 王保乾, 李祎. GEP 核算体系探究——以江苏省水资源生态系统为例. 水利经济, 2015, (5): 14-18.

[9] 王莉, 彭培好, 刘贤安, 石转弟. 四川省甘孜州松茸栖息地动态变化研究. 长江流域资源与环境, 2013, 22(8): 1043-1048.

[10] 《中国物价年鉴》编辑部. 中国物价年鉴 2011. 北京: 中国物价年鉴社, 2011.

[11] 中华人民共和国水利部. 2010 年全国水利发展统计公报. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.

[12] 侯元兆, 张佩昌, 王琦. 中国森林资源核算研究. 北京: 中国林业出版社, 1995.

[13] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[14] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 韩艺师. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估. 生态学报, 2000, 20(4): 552-558.

[15] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 肖寒, 王效科. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402.

[16] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. 生态学报, 2003, 23(11): 2367-2378.

[17] 国务院. 排污费征收标准管理办法(国家发展计划委员会、财政部、环保总局、国家经贸委 2003 年 31 号令). 北京: 国务院, 2003.

[18] Fryrear D W, Saleh A, Bilbro J D, Schomberg H M, Stout J E, Zobeck T M. Revised wind erosion equation (RWEQ). Wind Erosion and Water Conservation Research Unit. USDA-ARS, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, Technical Bulletin No.1, 1998. [2016-05-16]. http://www.csrl.ars.usda.gov/wewc/rweq/app.pdf.

[19] Fryrear D W, Bilbro J D, Saleh A, Schomberg H, Stout J E, Zobeck T M. RWEQ: improved wind erosion technology. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55: 183-189.

[20] 饶恩明, 肖燚, 欧阳志云, 江波, 严登华. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化. 生态学报, 2014, 34(21): 6225-6231.

[21] 甘孜藏族自治州统计局. 甘孜统计年鉴 2011. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[22] 马兴娟. 甘孜州水资源供需平衡分析及可持续开发利用研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.

[23] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

[24] 刘朔, 陈天文, 蔡凡隆, 杨建勇, 邹峡, 朱子政. 川西北高寒草地沙化进程中土壤物理性质的变化—以理塘县为例. 四川林业科技, 2013, 34(2): 43-47.